



山东大学
SHANDONG UNIVERSITY

室外远程驾驶无人车项目

成果转化：

第十八届全国大学生智能车竞赛室外赛国家级一等奖（全国亚军）

第十一届“大唐杯”新一代信息技术大赛产教融合5G+创新赛道省级二等奖

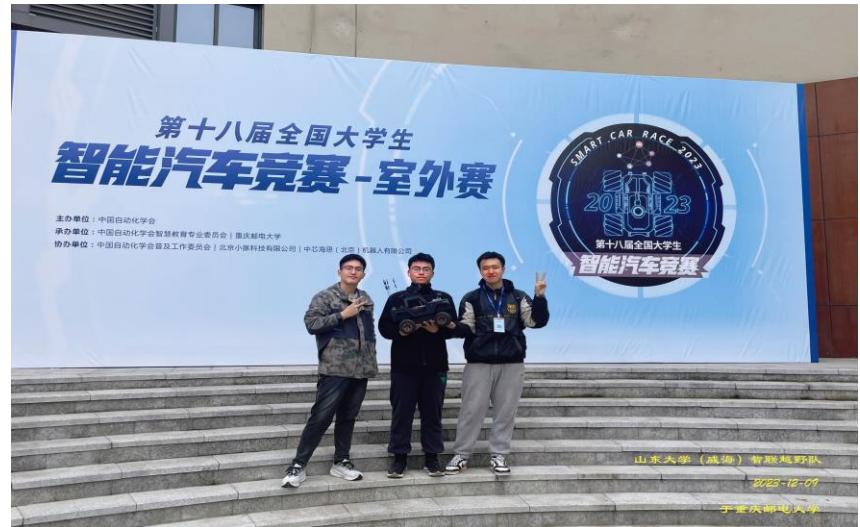
第十九届山东大学（威海）大学生科研训练项目三等奖

.....

►立项时间：2023.3 — 2023.12



室外远程驾驶无人车团队（全员推免）



“自主导航”任务负责人

团队队长

山东省优秀学生

两年国家奖学金

推免（直博）：

李志坚

中国科学院大学

“网联驾驶”任务负责人

电赛省一

智能车“极速越野组”负责人

推免：

天津大学



张宇

“完全模型组”国一第五名

直博：北京航空航天大学

何延懋

“四轮摄像组”国二

推免：哈尔滨工业大学

刘跃升

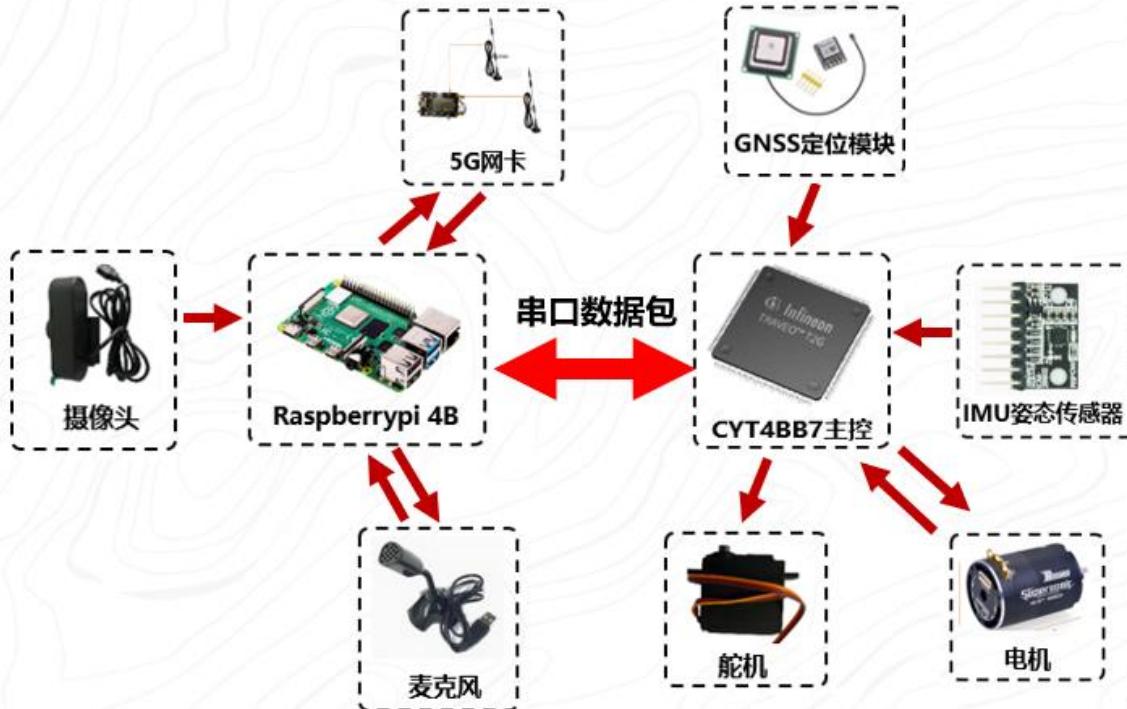
科研立项负责人

推免：哈尔滨工业大学



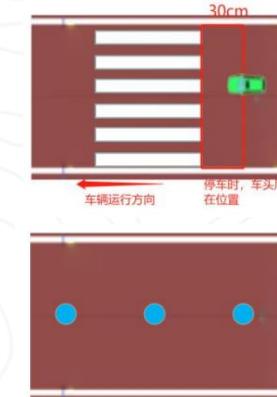
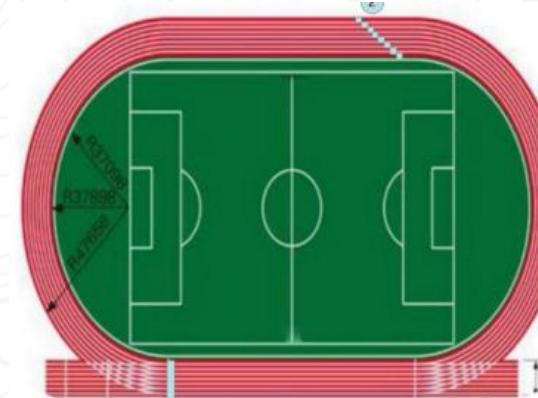
远程驾驶无人车项目任务简介

无人车系统组成框图：



根据以上框图搭建的车模，具备视觉、听觉、姿态、定位感知能力，也可以通过5G网络与外界交互。必要时可以进行多传感器融合完成比赛任务。

赛题要求：



在标准**室外**操场上：

车模运行一圈

半圈网联驾驶

半圈自动导航

在运行过程中，会遇到**人行横道、锥桶、黄线、二维码**等元素，车模应该准确的识别并做出正确的决策，速度越快排名越高。



基本功能：

一

网联驾驶



负责工作· 搭建远程驾驶平台

搭建远程驾驶平台

- ✓ 实时图像传输 ✓ Frp内网穿透
- ✓ 实时位置监控 ✓ 前端网页设计
- ✓ 网页远程控制 ✓

难点

- 远程驾驶对实时图像传输要求高，图传不能出现卡顿或延迟。

创新点

- 搭建自己的远程驾驶平台，图像传输更快、功能更多样。
- 自行搭建、配置服务器，实现内网穿透

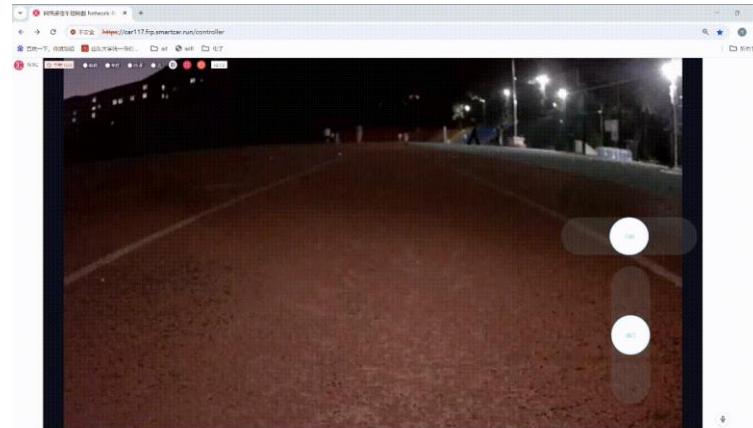


图1 官方提供的方案

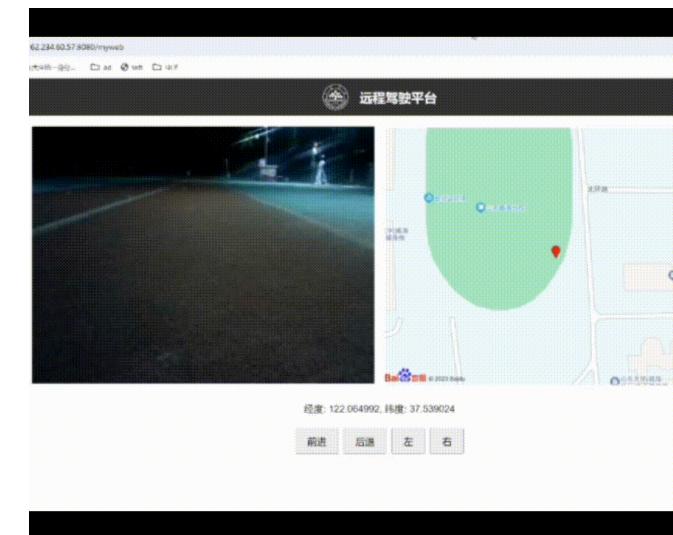


图2 自行搭建的远程驾驶平台



负责工作· 搭建远程驾驶平台

1

树莓派端相关服务

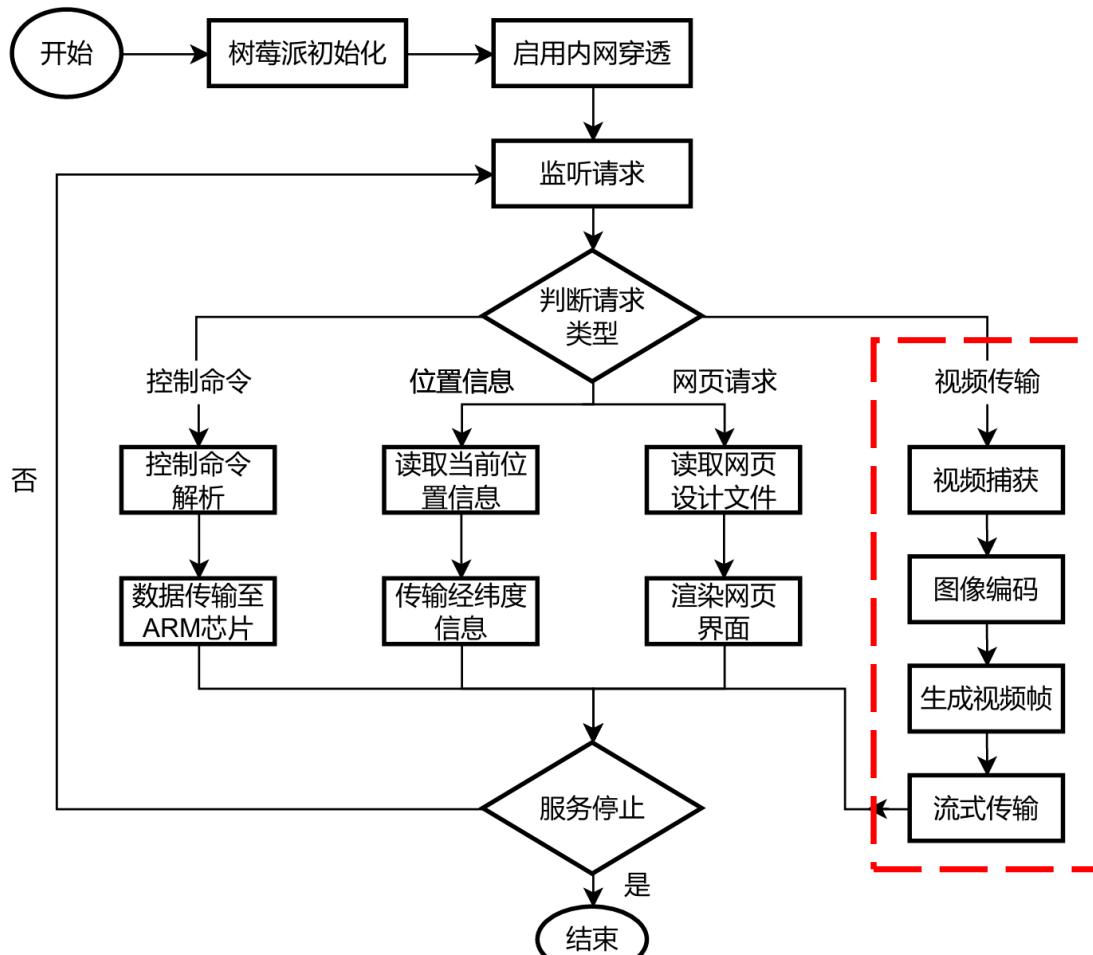


图1 系统整体程序设计

优势

- Flask轻量级Web框架，**占用内存资源少**
- 使用流式传输方案，逐步发送视频帧，**延迟低**，

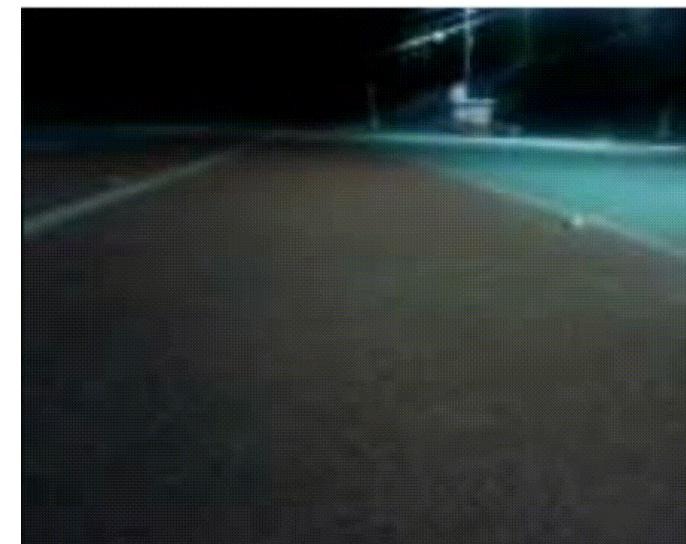


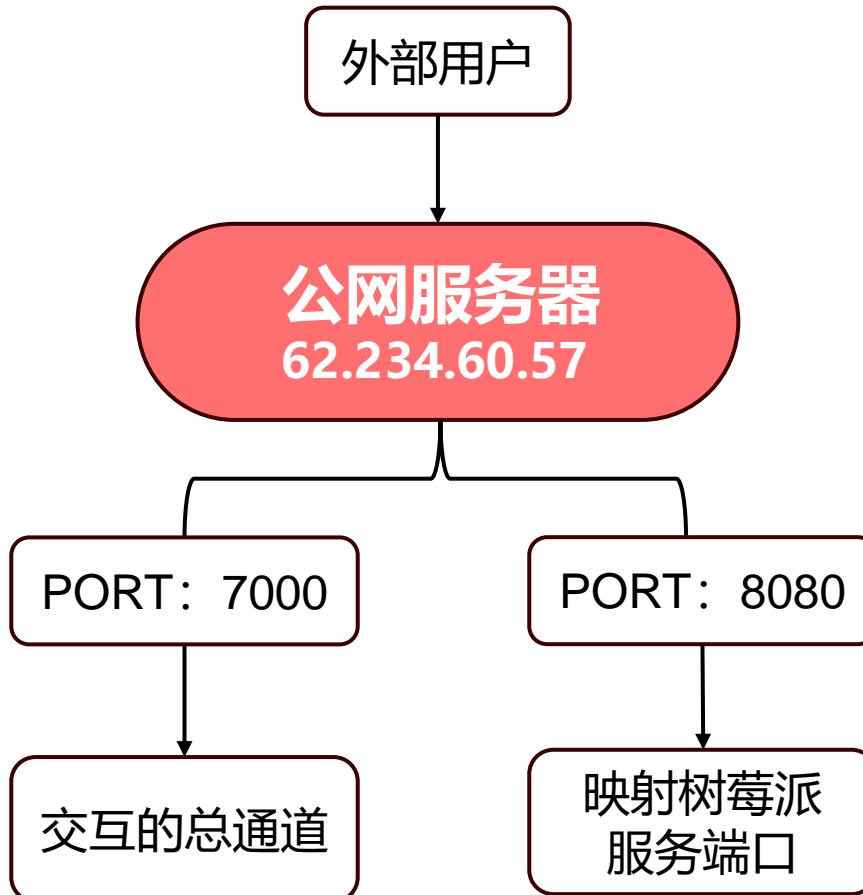
图2 视频流传输效果



负责工作· 搭建远程驾驶平台

2

frp内网穿透



将局域网中的服务暴露给外网访问的技术。

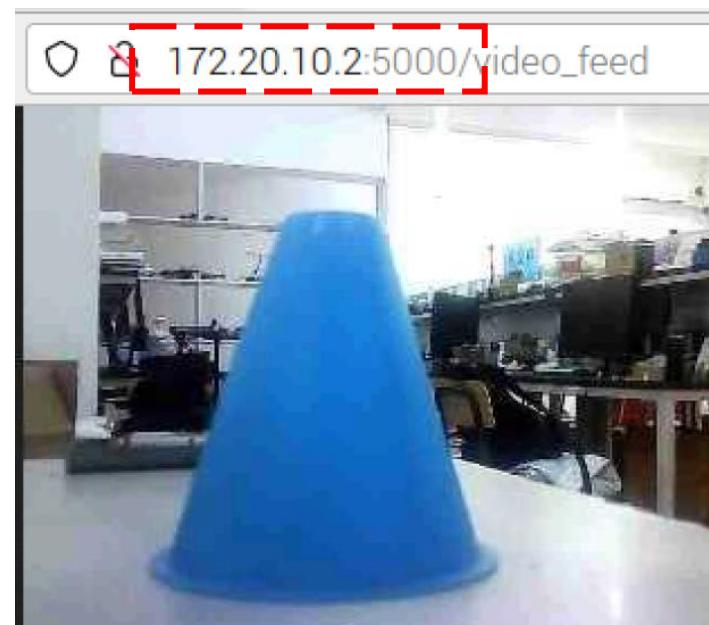


图1 树莓派端口服务



图2 外网访问内网服务



负责工作·搭建远程驾驶平台

3

前端网页设计

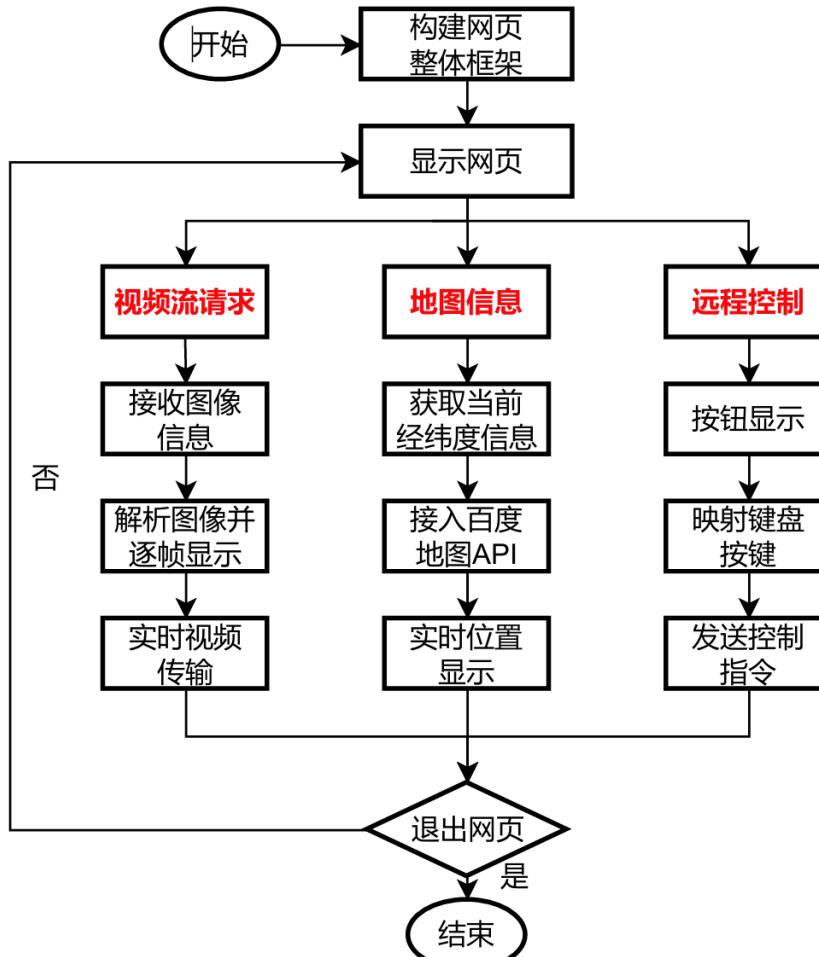


图1 网页设计流程图



图2 网页界面



基本功能：

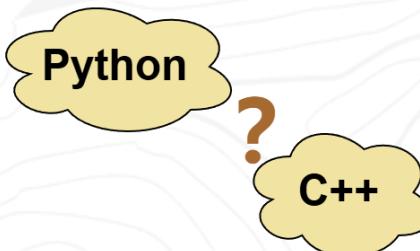
二

视觉导航

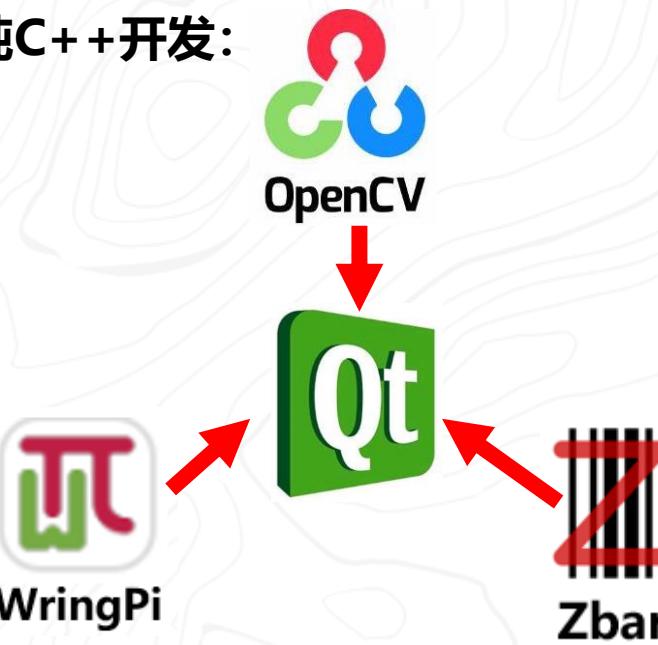


机器视觉之图像处理开发综述

Raspberry 4B两种主流开发方式



纯C++开发:



实时性好，鲁棒性高：

处理一帧 320×240 大小的图像的平均时间优化到**32ms**

+

官方摄像头最高支持30帧

=

达到最快视觉循迹速度，室外自主导航平均速度**3.39m/s**

相机标定

图像处理

倾斜二维码的扫描

车道边线的提取（重点创新）

元素的识别与处理（调试难点）



机器视觉预处理（相机标定）

张正友棋盘格标定法



图1：20张棋盘格图片

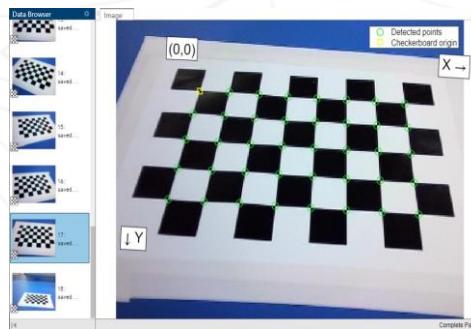


图2：Matlab标定过程

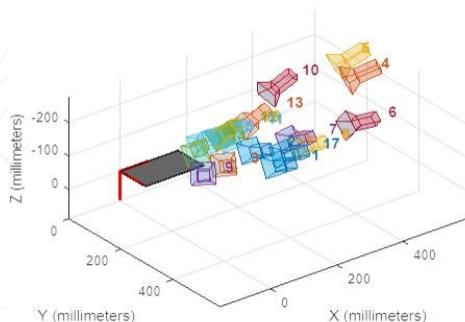


图3：测试相机与平面位置

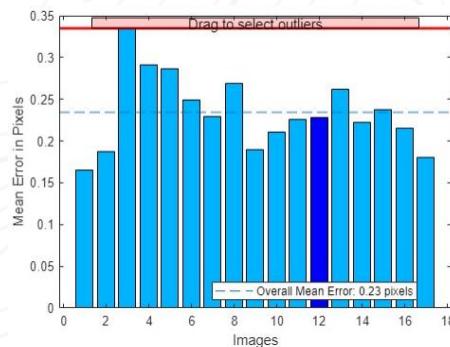


图4：平均像素误差



由于要进行**视觉像素定位、车道线提取**，而且相机的**畸变较大**，有必要进行**相机标定和去畸变处理**

标定结果

相机内参矩阵(Intrinsic Matrix)

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 391.8510 & 0 & 184.3894 \\ 0 & 427.5432 & 151.1213 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

径向畸变系数(Radial Distortion)

$$k_1 = 0.0923268707, k_2 = -0.1474193186, k_3 = 0.0$$

切向畸变系数(Tangential Distortion) (直接忽略)

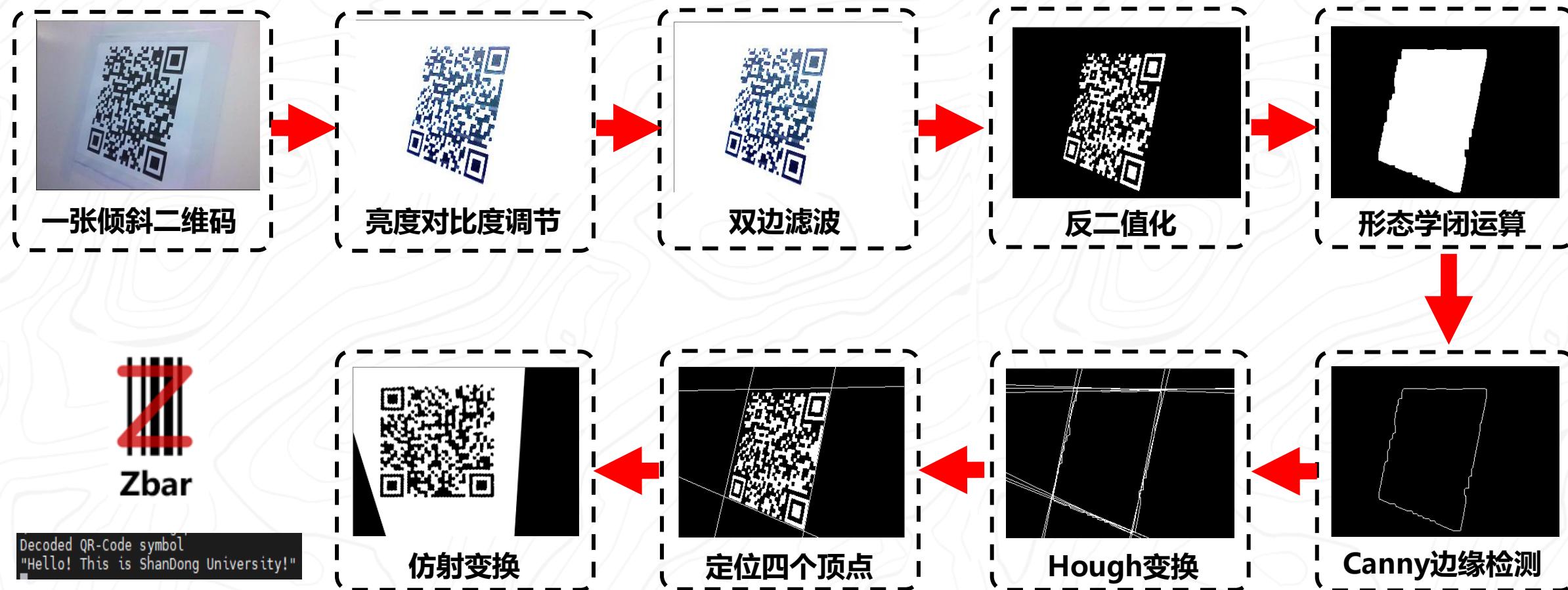
$$p_1 = 0.0000, p_2 = 0.0000$$

Reference: Zhang Z . A Flexible New Technique for Camera Calibration[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence , 2000 , 22(11):1330-1334



图像处理任务（倾斜45°二维码扫描）

利用几何定位结合仿射变换，将倾斜二维码转化成正视图，然后使用Zbar库的接口进行二维码识别





图像处理任务（车道线提取）（重点）



智能车**室内**赛道



智能车**室外**赛道

室内仿真赛道上尝试**传统扫线循迹方法**

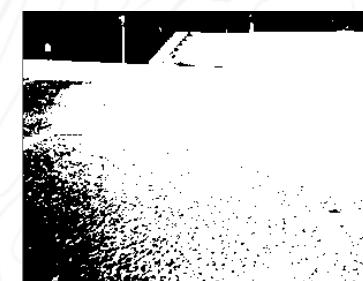


室外图像处理的挑战性？

1. 光线强度的不确定性、不均匀性（比如烈日、阴天）
2. 操场地面的一些颗粒，产生的反射严重
3. 历经风雨的操场，跑道线已经变的不清晰，而且有杂线



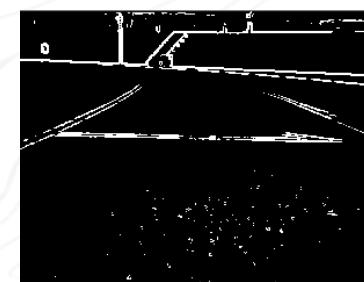
图(a): 原图像



图(b): 全局大津二值化



图(c): Canny边缘检测



图(d): Sobel边缘检测



图(e): Laplacian算子检测



图(f): Dog算子检测



图像处理任务（车道线提取）（重点）

我们提出的车道线提取算法



车道线提取算法演示



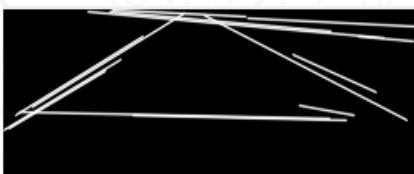
图(a): 截取的ROI区域



图(b): 高斯模糊后



图(c): Canny边缘检测



图(d): Hough变换检测的直线

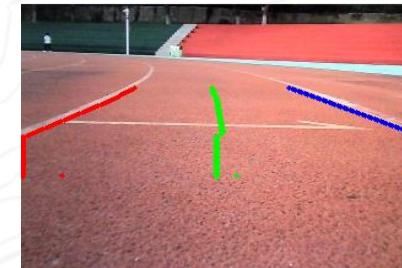


图(e): 特征筛选后的直线

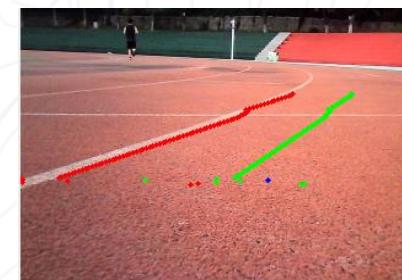


图(f): 形态学闭运算后

巡线效果展示



图(a): 车身正 (error: -0.2)



图(b): 车身左 (error: -58.0)



图(c): 车身右 (error: 58.9)



图像处理任务（车道线提取）（重点）

视觉导航的控制方法

赋予每行图像的控制权重



计算拟合中线与实际中线的偏差



赋予相应的权重



计算控制偏差



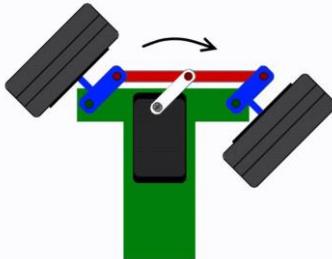
PID闭环控制器

参数包

Canny边缘检测的双阈值

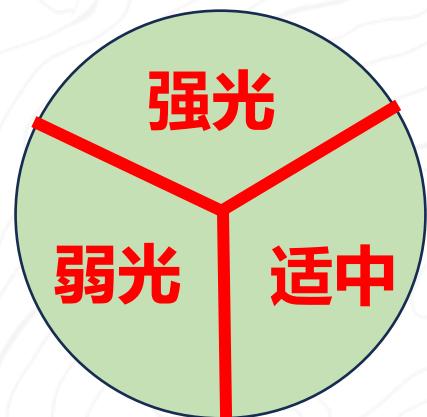
高斯滤波的高斯核标准偏差

速度和与之对应的Kp



图(a): 舵机转向结构

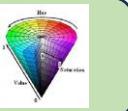
PD闭环即可



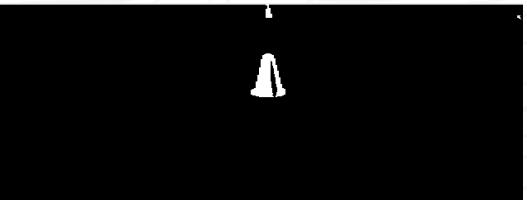


图像处理任务 (元素识别与处理) (难点)

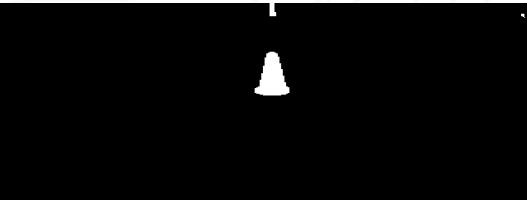
在HSV颜色空间中完成阈值分割，再图像补线处理完成S弯避障



图(a):截取的锥桶识别的ROI区域



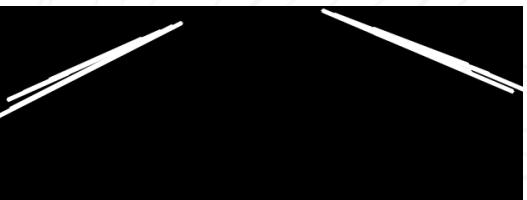
图(b):BGR-HSV变换+阈值分割



图(c):形态学闭 (先膨胀后腐蚀)



图(d):面积、位置筛选定位后

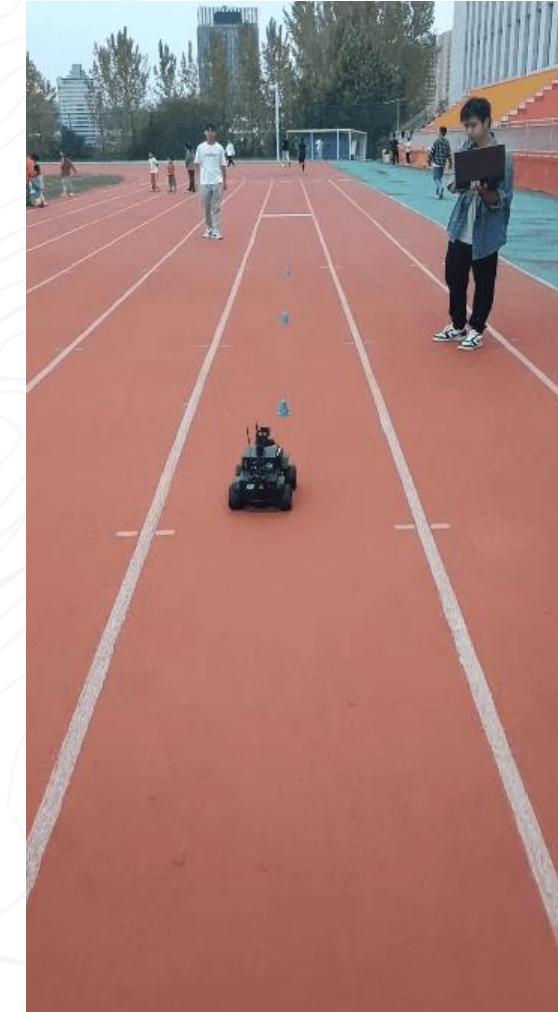


图(e):锥桶的存在不影响巡线



图(f):图像补线完成避障

蓝色锥桶S弯避障演示



利用跳变点识别斑马线



图像行数对应实际距离



图(a):识别斑马线而截取的ROI

图(b):跳变点数 > 10个



拓展计划：

三

无刷驱动设计



负责工作·无刷驱动设计

无刷驱动设计

- 换用无刷电机，速度提至12m/s+ 创新点
- 在Simulink中进行建模仿真
- 完成驱动硬件设计
- 完成程序软件设计

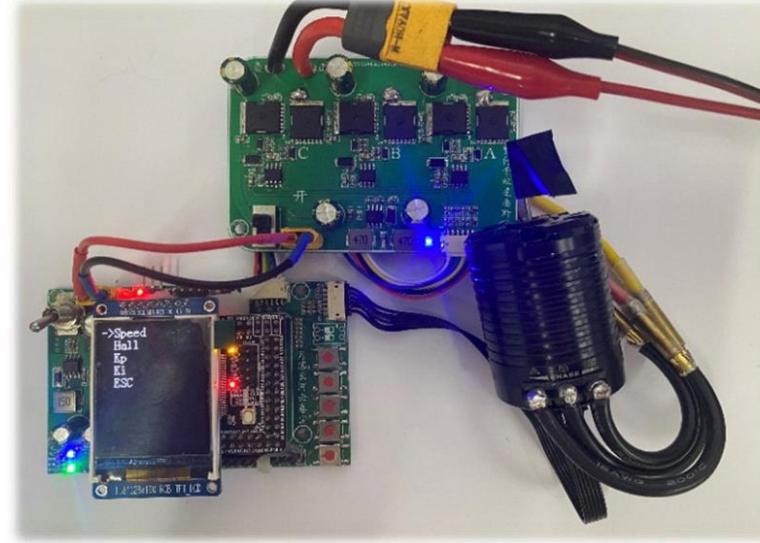


图1 驱动板连接无刷电机



最高转速不足一万转 (rpm)

低效率

寿命短

图2 540有刷电机



最高转速可达三万转以上

高效率、高速度范围

寿命长

图3 3650无刷电机



负责工作·无刷驱动设计

1

模型仿真

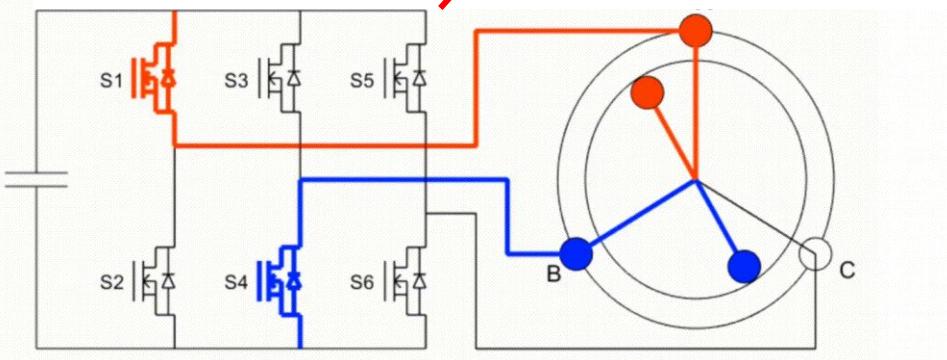
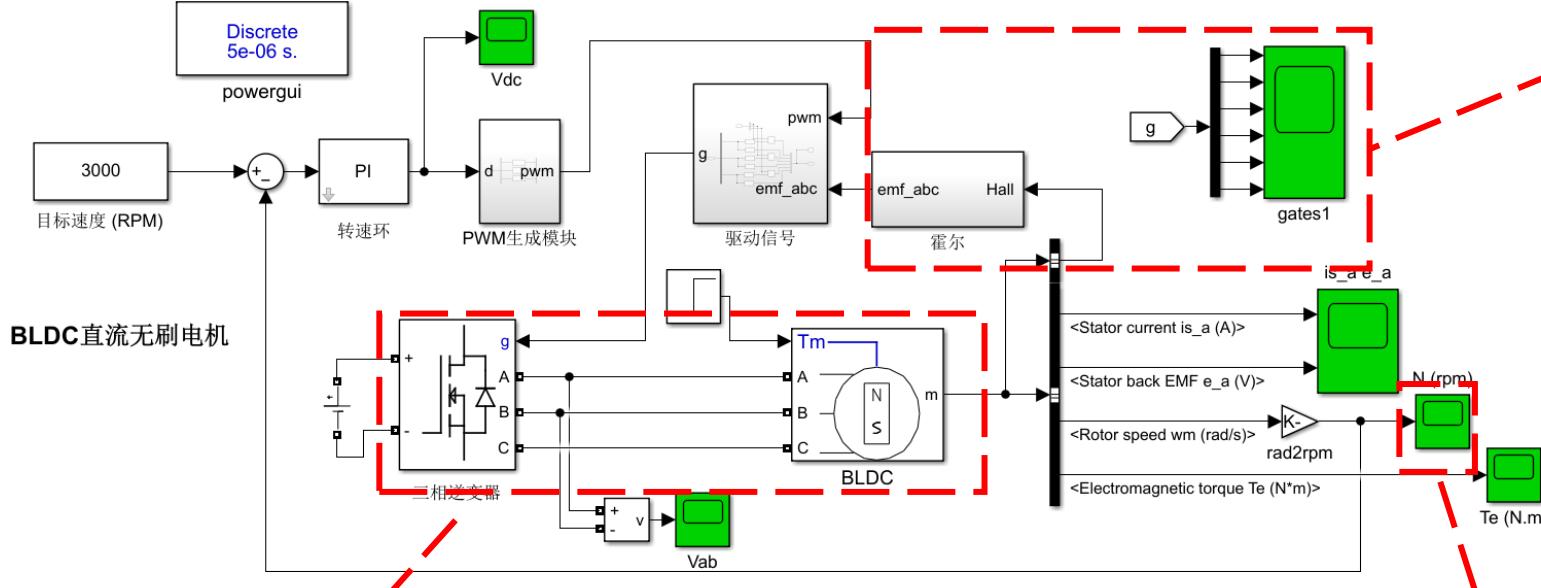


图1 三相逆变电路

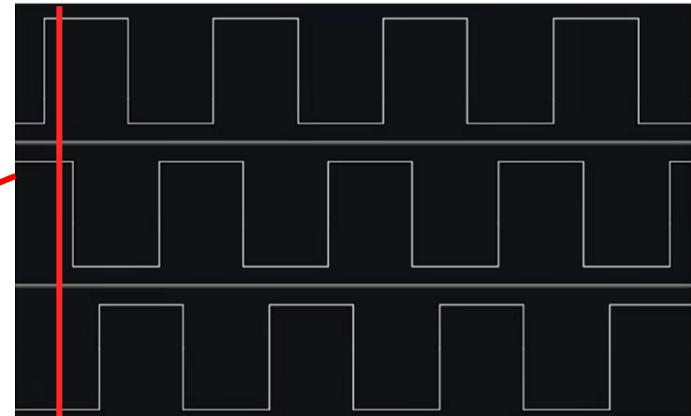


图2 霍尔输出波形

解码后得霍尔硬件编码顺序：
6 2 3 1 5 4

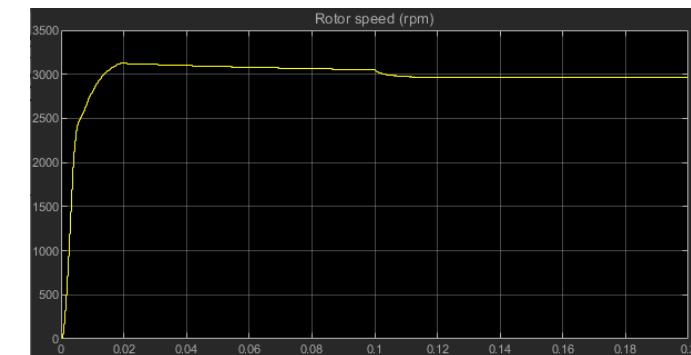


图3 速度输出波形



负责工作·无刷驱动设计

2

驱动硬件设计

- 基于设计3个独立的半桥驱动电路
- 更换大功率MOS管 **创新点**
- 优化布局布线、铜面开窗

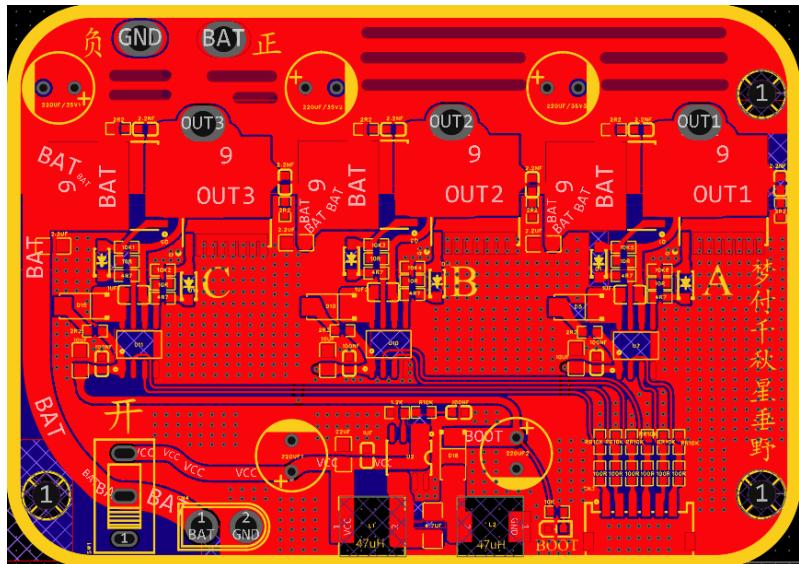


图1 PCB线路设计图

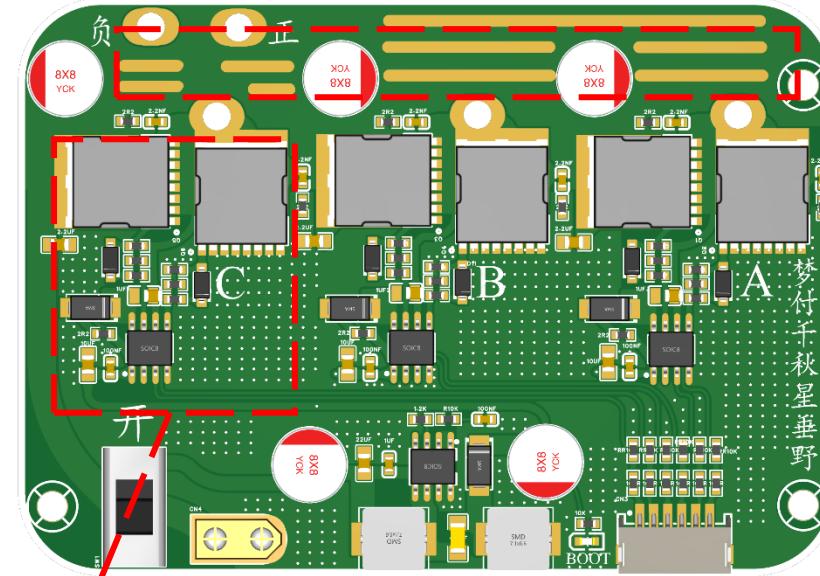


图2 PCB3D渲染图



TOLL封装，**散热快**
 参数40V-320A，**承受电流大**
 内阻低，符合驱动设计需求
 HYG011N04LS1TA

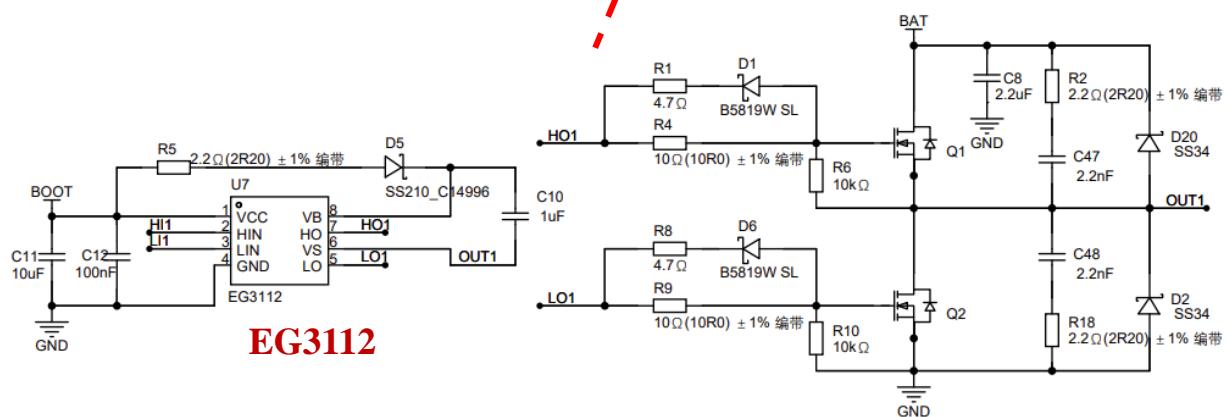


图3 驱动半桥原理图

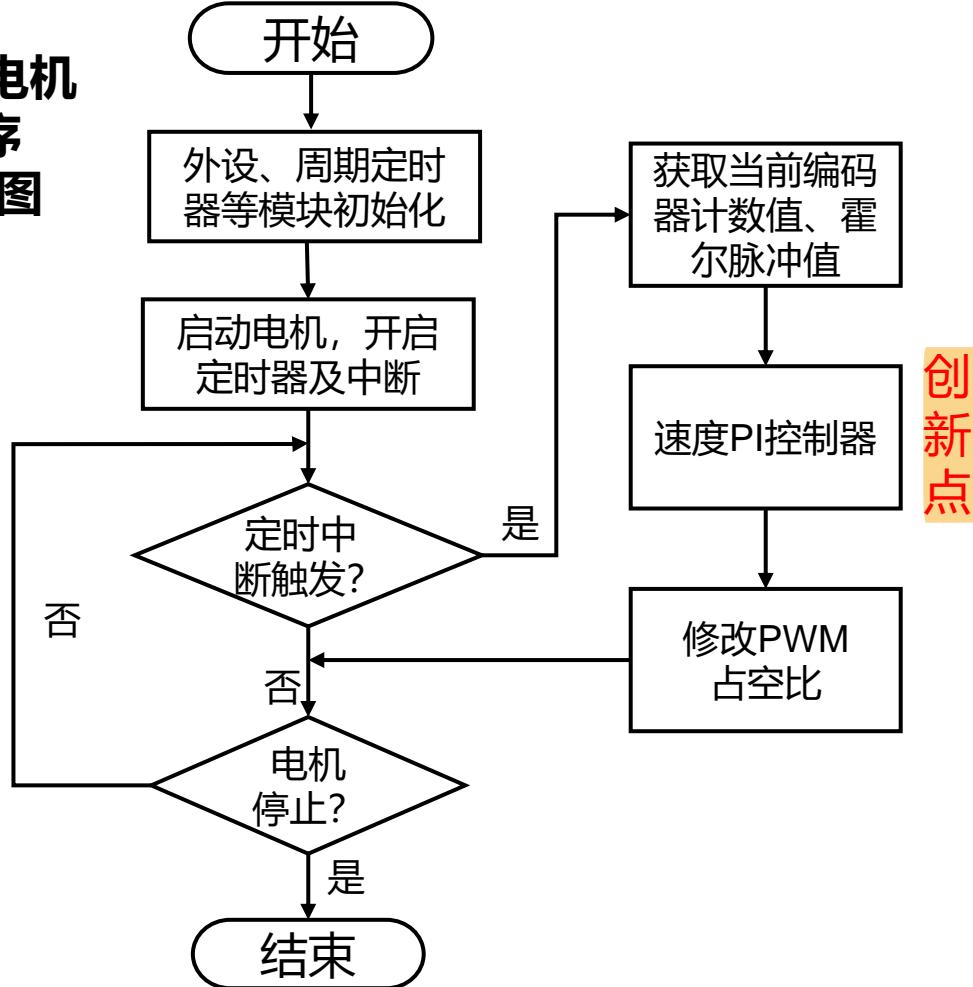


负责工作·无刷驱动设计

3

驱动软件设计

无刷电机
程序
流程图



创新点



图1 未进行速度闭环

图2 速度闭环效果

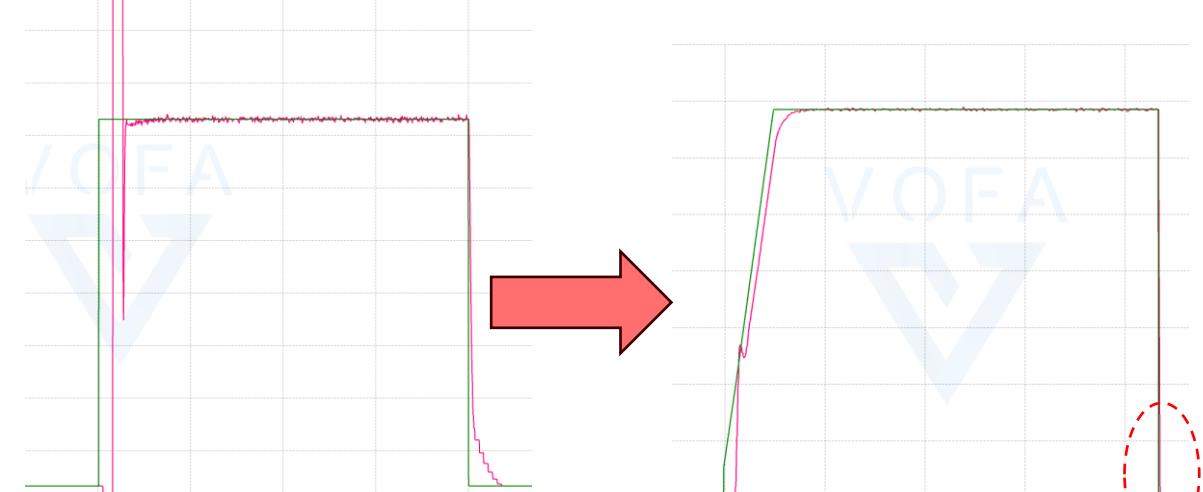


图3 启动速度过高
导致电机抖动

图4 缓慢加速
与刹车处理



拓展计划：

四

GNSS/INS组合导航



GNSS/INS组合导航的尝试

突破性尝试：使用GNSS和INS两大系统，做数据融合，借助组合导航方法完成任务

纯视觉
感知

出色的完成
赛题要求

定位
感知

姿态
感知



？

GNSS定位传感器

GNSS数据包

经度
纬度
海拔
速度
航向

定位精度
1m左右

数据包输出速率
10Hz

IMU姿态传感器

IMU数据包
(六轴)

三轴加速度
三轴角速度

积分误差随
时间而积累

数据包输出速率
200Hz以上

显然，两大传感器各有优缺点，使用任何一个都不能完成效果好的高速导航，但是两者优势互补，做数据融合后，会有比较好的组合导航效果。

本人工作：

组合导航

六轴IMU数据姿态解算

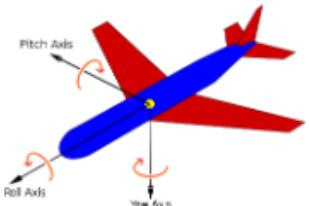
EKF松组合定位估计

Stanley路径跟踪算法



六轴IMU姿态解算

使用欧拉角表示物体姿态



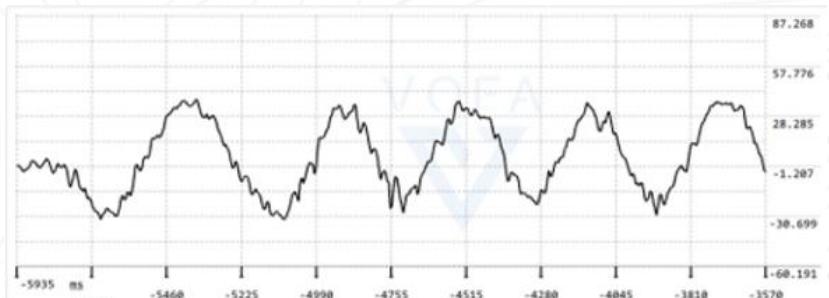
$[pitch]$ (俯仰角)
 $[roll]$ (横滚角)
 $[yaw]$ (航向角)

MEMS惯导
系统级标定即可

完全使用加速度计解算

高频噪声

$$\begin{bmatrix} pitch \\ roll \\ yaw \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \arctan\left(\frac{-acc_x}{acc_z}\right) \times \frac{180^\circ}{\pi} \\ \arctan\left(\frac{acc_y}{\sqrt{acc_x^2 + acc_z^2}}\right) \times \frac{180^\circ}{\pi} \\ \text{重力加速度在该平面无分量, 无法解算} \end{bmatrix}$$

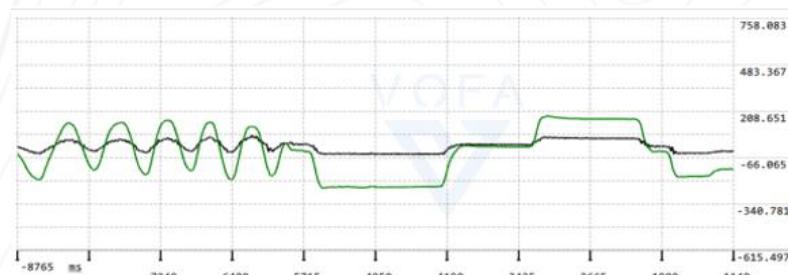


图a:完全由加速度计结算的俯仰角 (黑色)

完全使用陀螺仪解算

低频噪声

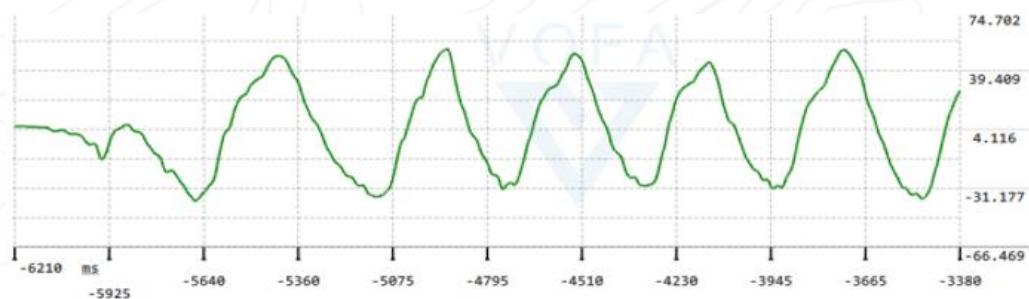
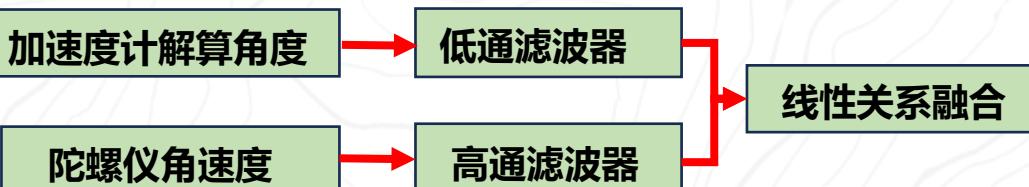
$$\begin{bmatrix} pitch \\ roll \\ yaw \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum gyro_y \times dt \\ \sum gyro_x \times dt \\ \sum gyro_z \times dt \end{bmatrix}$$



图b:完全由陀螺仪结算的俯仰角 (绿色)

互补融合思路:

$$B[n] = \frac{T}{T+TA} A[n] + \frac{TA}{T+TA} (G[n]*T + B[n-1])$$



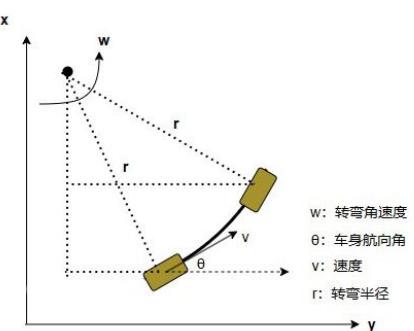
图c:互补滤波后俯仰角 (绿色)



化简版EKF松组合定位估计（创新点）

化简默认的条件

1. 车辆在一个平面（海拔）运动，北东天坐标系化简为北东坐标系
2. 使用墨卡托投影的方法，将经纬度数据转化为单位为米的平面坐标系，忽略地球自转和曲率影响
3. 车辆的运动符合CTRV（恒定转弯率和速率）模型
4. 只使用卫星获取的位置，不使用卫星获取的速度



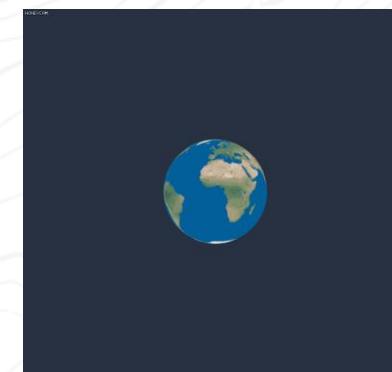
$$X(t \rightarrow t + \Delta t) = \begin{bmatrix} r \sin(\theta + \omega \Delta t) - r \sin \theta + x \\ -r \cos(\theta + \omega \Delta t) + r \cos \theta + y \\ v \\ \theta + \omega \Delta t \\ \omega \end{bmatrix}, r = \frac{v}{\omega} \text{ 且 } \omega > 0$$

$$X(t \rightarrow t + \Delta t) = \begin{bmatrix} v \Delta t \cos \theta + x \\ v \Delta t \sin \theta + y \\ v \\ \theta + \omega \Delta t \\ \omega \end{bmatrix}, \omega = 0$$

图a:CTRV运动学模型及其状态转移公式

使用状态向量表示车的状态

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ heading(yaw) \\ pitch \\ roll \\ speed \end{bmatrix} \xrightarrow{\quad} \begin{bmatrix} x \\ y \\ heading(yaw) \end{bmatrix}$$



$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = f\left(\begin{bmatrix} lon \\ lat \end{bmatrix}\right) = \begin{bmatrix} \frac{lon \times \pi R}{180} \\ \frac{0.5R \times \log(1.0 + \sin(\frac{lat \times \pi}{180}))}{1.0 - \sin(\frac{lat \times \pi}{180})} \end{bmatrix}, R \text{ 是地球半径}$$

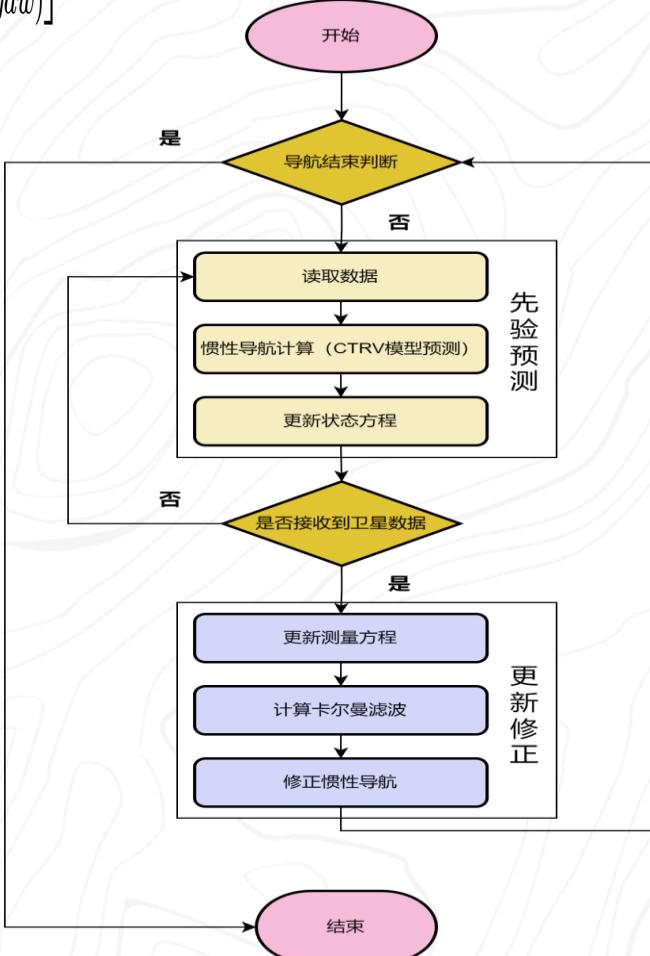
图b:墨卡托投影过程及其公式



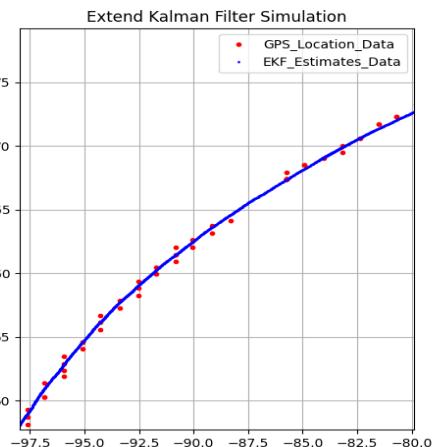
化简版EKF松组合定位估计（创新点）

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ \text{heading(yaw)} \end{bmatrix}$$

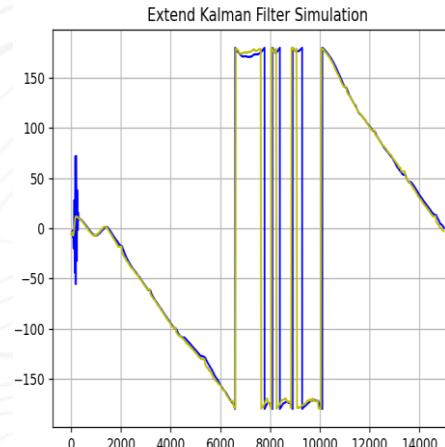
使用三维EKF做数据融合处理



EKF的Python仿真结果



图(a):东向和北向的坐标推算预测
(红色为卫星数据, 蓝色为EKF结果)



图(b):某平面内航向角的预测结果
(红色为卫星数据, 蓝色为EKF结果)

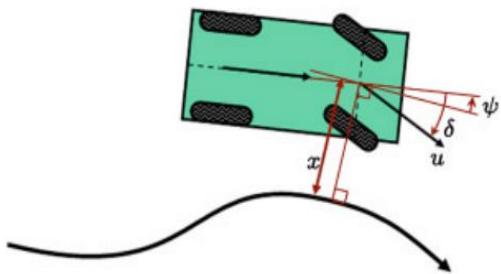
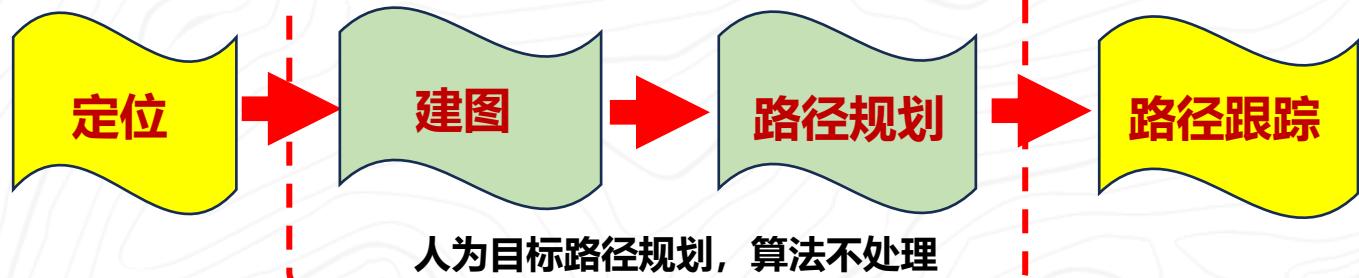


1. 仿真数据来源于操场运行一圈的实际测量! 并且在车模上得到正确验证。
2. 定位数据的刷新率从10Hz提高到200Hz。
3. 卫星信号较弱时也能有较好的定位效果



Stanley路径跟踪算法

一般的导航过程：



图(a):Stanley跟踪方法的示意图

人为设定目标轨迹上的点

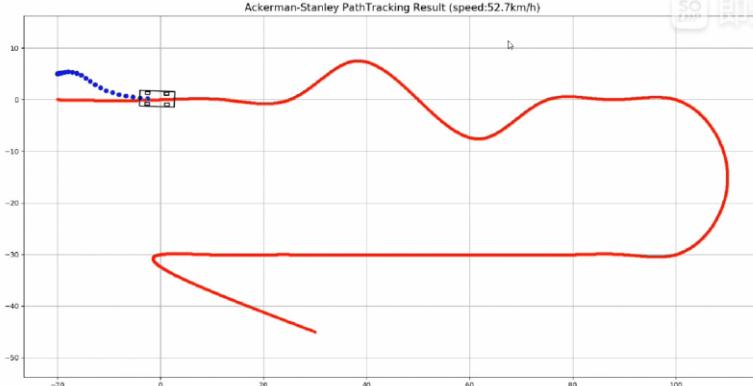
计算目标航向角队列

寻找最近的路径点

计算横向偏差和航向偏差

计算舵机打脚

Reference: Thrun S, et al. Stanley: The Robot that Won the DARPA Grand Challenge [J]. Journal of Field Robotics 23(9), 661–692 (2006)



图(b):Stanley路径跟的python仿真结果



图(c):室外S型避障实测结果 (组合导航)



拓展计划：

五

Other Workings



Other Workings

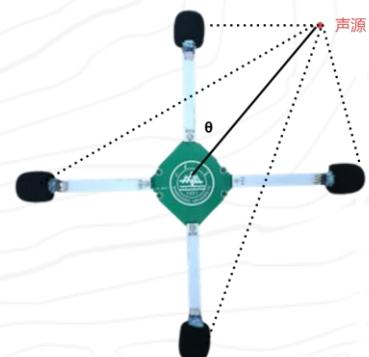


基于图像处理的循迹智能车（摄像头组）



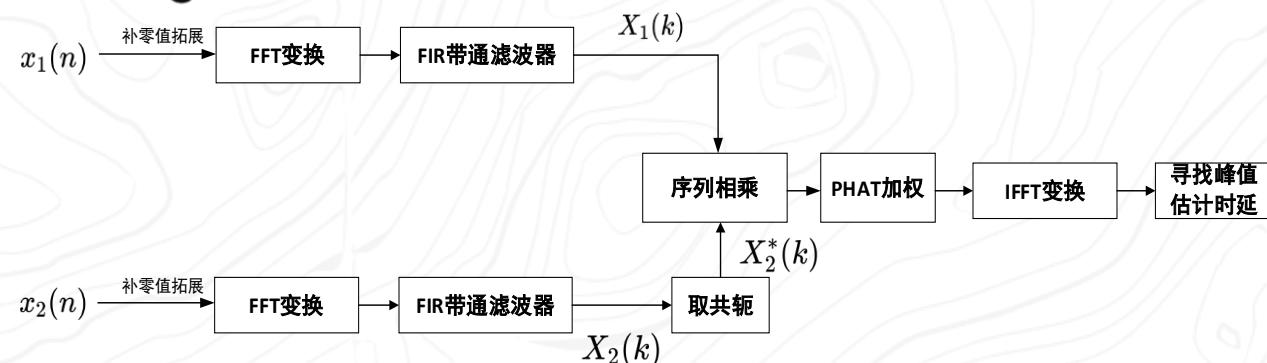
室外高速导航验证车模

TDOA 声源定位

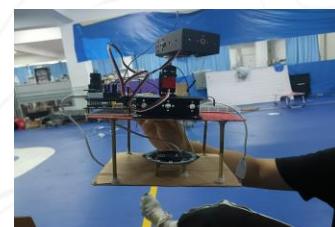


在同一平面（二维）

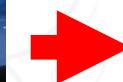
$$\theta = \arctan\left(\frac{\text{前后时延}}{\text{左右时延}}\right)$$



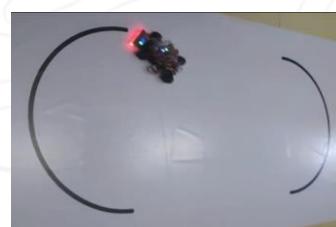
图：利用FFT加速互相关运算的过程



简易声源定位跟踪（2022）



信号调制参数测量（2023）

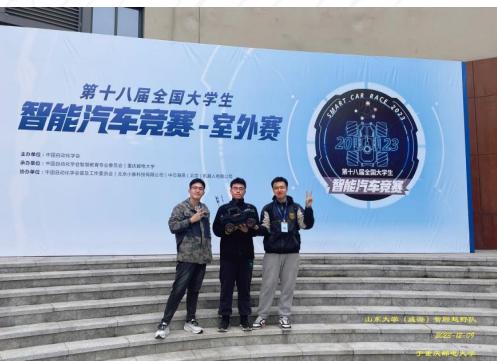


自动行驶小车（2024）



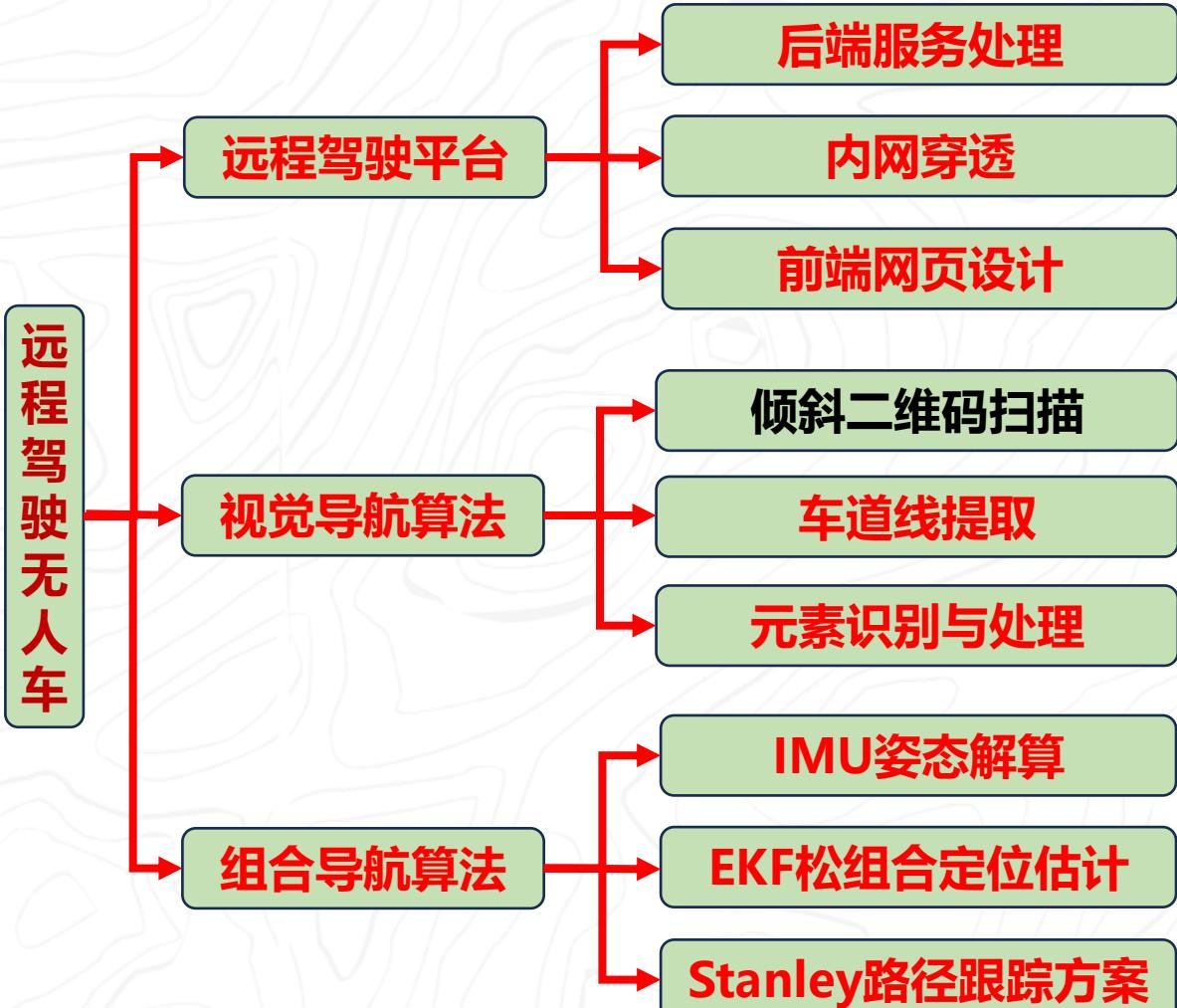
路漫漫其修远兮，吾将上下而求索

室外远程驾驶无人车团队



2023年12月9日，团队获得室外远程驾驶无人车组全国亚军！

项目研究工作





山东大学
SHANDONG UNIVERSITY

谢谢大家观看！欢迎交流！

山东大学（威海） 5G远程驾驶无人车团队



李志坚 张宇 周天宇 何延懋 刘跃升

2024年9月

Email: lizhijian_sdu@163.com